

COGENERACIÓN EN CHILE: CAPACIDADES, DESARROLLO Y PERSPECTIVAS

Axel Poque Gonzalez¹, Yunesky Masip Macía², Javier Valdes³, Luis Ramirez Camargo³

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Quilpué, Chile

Institute for Applied Informatics, Technische Hochschule Deggendorf, Freyung, Germany
Grafenauer Str. 22 94078 Freyung, Germany

Tel. +49 (0)8551 91764-28. E-mail: luis.ramirez-camargo@th-deg.de

Recibido 07/08/18, aceptado 11/09/18

RESUMEN: En Chile, el proyecto de cogeneración más antiguo data de 1930 y operó hasta el año 1997. Sin embargo, pese a que la tecnología lleva introducida largo tiempo, pocos son los estudios que han analizado el potencial de CHP y su evolución. Un primer paso para el estudio del potencial del país es la creación de un catastro que incluya la capacidad instalada. El interés de este ejercicio radica en el potencial de integración de mayores cantidades de CHP en el sistema eléctrico con el objetivo de hacer frente a la intermitencia de fuentes de energía no convencionales. Además, las plantas CHP pueden ayudar a alcanzar los objetivos de eficiencia energética gracias a la posibilidad de los generadores de volcar a la red tanto la electricidad como calor no consumido en los procesos productivos. Sin embargo, para que esto ocurra es necesario el desarrollo de un marco regulatorio acorde a las capacidades y características de las plantas de CHP. El objetivo de este artículo es precisamente identificar las características de las instalaciones en industrias específicas, así como su evolución, con el objetivo de extrapolar los datos al resto de la economía y obtener un potencial de CHP para el país. Para ello, se han hecho consultas de catastros anteriores, así como entrevistas con empresas para conocer el estado actual del parque de plantas de CHP en el país.

Palabras clave: cogeneración, eficiencia energética, flexibilidad del sistema eléctrico

1. INTRODUCCIÓN

En 2017, el 57.4% de la producción de electricidad en Chile se basa en combustibles fósiles, principalmente carbón importado. Esto no solo genera grandes cantidades de CO₂ que contribuyen a la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, y a la contaminación local del aire y el suelo, sino que también, hace que Chile dependa de la importación de fuentes primarias de energía (Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, 2018). Debido a la dependencia de la economía chilena a los combustibles fósiles, en los últimos años se han dado diversos avances en políticas públicas y el marco regulatorio del país. Como consecuencia de estos esfuerzos, el año 2017 el 16% de la generación eléctrica correspondía a Energías Renovables No Convencionales (ERNC). El empeño de Chile por utilizar mejor sus recursos naturales como, el sol, el viento, la energía hidroeléctrica y la biomasa tiene como principal objetivo diversificar la matriz energética y proveer a la economía con un suministro energético sostenible de electricidad y calor. Para ello, junto a las ERNC, la Cogeneración (Combined Heat and Power-CHP por sus siglas en inglés) ha sido uno de los pilares de la revolución energética del país, basada en la búsqueda de una mayor eficiencia energética, la descarbonización y flexibilidad del sistema eléctrico.

El uso y potencial de la CHP para su aplicación desde la micro hasta la gran escala, se ha investigado

¹ Estudiante Investigador, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

² Profesor Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

³ Senior Scientist, Institute for Applied Informatics, Technische Hochschule Deggendorf

en una amplia gama de industrias, sectores comercial y residencial y adoptado en diversos países. En diferentes estudios se puede encontrar una descripción general de las tecnologías de CHP que se utilizan acorde a los tipos de industrias (Varbanov y Klemeš, 2011). En el contexto chileno, se ha evaluado el potencial de CHP para el sector Industrial y Minero (I&M), hospitales públicos y también para otros sectores económicos (Universidad de Chile, 2010; Universidad de Chile, 2013; GIZ, 2014). En estos estudios también se ha detectado los principales desafíos que enfrenta la CHP, los cuales incluyen la existencia de importantes barreras para su implantación, tales como, los altos montos de inversión en estas tecnologías y el bajo precio de la energía eléctrica vendida a la red, lo cual, alarga los tiempos de recuperación del capital. Esto, acompañado de un mercado que desconoce en gran medida esta tecnología, sus beneficios y formas de mantención, incluyendo a los actores que entregan los aportes financieros para su desarrollo.

Atendiendo a lo descrito, el objetivo de este trabajo consiste en generar un catastro de las plantas de CHP existentes en Chile, a partir del cual, se determine el potencial de CHP para el país, considerando los sectores I&M, el sector comercial y público. El resto del artículo se estructura de la siguiente manera: la sección 2 analiza los esfuerzos anteriores para desarrollar catastros de las plantas existentes en Chile. La sección 3 describe la metodología mediante la cual se determinaron las plantas de CHP existentes en operación y con aprobación para su construcción, a partir de las fuentes de información públicas, empresas y agencias ligadas al ámbito de la energía, obteniendo variables, tales como, la capacidad instalada eléctrica y térmica, energía eléctrica inyectada a la red, portador energético empleado para cogenerar, localización geográfica, año de inicio de operación y el tipo de tecnología empleada (turbina de gas o vapor y motor de combustión interna). En la sección 4 de resultados se analiza el desarrollo y evolución de la CHP en Chile a lo largo del tiempo determinando el potencial de CHP disponible en el país, tomando como base la demanda energética disponible para el sector industrial, minero, comercial y público. Finalmente, las conclusiones se recogen en la sección 5 del trabajo.

2. ESTADO DEL ARTE

En Chile, el proyecto de CHP más antiguo data de 1930, una turbina de vapor de 6 MWe con caldera a carbón; operó hasta el año 1997. Hoy, el proyecto de CHP más antiguo en funcionamiento es del año 1953, y su potencia instalada es de 2.8 MWe y 16.8 MWt. A pesar que, con el paso de los años el uso de esta tecnología ha ido en aumento motivado por diferentes factores que se describirán más adelante, el análisis sobre la CHP en el país no ha sido mayormente trabajado, y el estudio más reciente que se encuentra disponible data de 2010, actualizado únicamente en 2013 y 2014. Entre los principales antecedentes respecto de la CHP y su potencial de desarrollo en el país se han encontrado los siguientes estudios:

- “Estudio de los Potenciales para la Cogeneración en los Distintos Sectores Económicos en Chile e Instrumentos para facilitar su Aplicación realizado durante el año 1995 por parte de la Comisión Nacional de Energía (CNE) y la consultora ENERGISA (Universidad de Chile, 2010);
- “Análisis Operacional y Comercial de Proyectos de Cogeneración y Energías Renovables Conectadas a Redes de Sub-Transmisión y Distribución Eléctrica” (Deuman Ingenieros, 2003);
- “Evaluación del Desempeño Operacional y Comercial de Centrales de Cogeneración y Estudio del Potencial de Cogeneración en Chile” (Gamma Ingenieros 2004).
- “Estudio para el Desarrollo de la Cogeneración en Chile” (Universidad de Chile, 2010).

La mayoría de los estudios se han concentrado en el cálculo y estimación del potencial de CHP para Chile. No obstante, en algunos de estos trabajos se ha podido establecer un catastro de las empresas que hasta ese momento habían implementado CHP. En el trabajo realizado por (Deuman Ingenieros, 2003) se mostró un estudio del año 1995, ejecutado por parte de la CNE y la Consultora ENERGISA, donde estimaron el potencial de CHP, identificando cerca de 260 MWe potenciales. En dicho estudio de 1995 se concluyó, además, que el impulso a la CHP en Chile requería de un adecuado soporte técnico y asistencia financiera de parte de proveedores especializados, así como, que la mayor parte de esta cogeneración estimada sería para autogeneración, y con muy poca cantidad de excedentes para la venta.

Posteriormente, un estudio para la CNE, determinó que en diciembre de 1997 se contaba con una capacidad de cogeneración instalada en el país cercana a los 350 MWe. Este segundo estudio actualizó las estimaciones del potencial de cogeneración realizadas en el año 1995, dando como resultado un potencial técnico de cogeneración de 1000 MWe, pero con un potencial económicamente factible de 450 MWe (Deuman Ingenieros, 2003). En este mismo estudio, se muestra el trabajo realizado durante el año 1999 por otros investigadores, quienes estimaron que, para la ciudad de Santiago, la más poblada del país, se tenía un potencial de CHP de 300 MWe. Todo el análisis fue realizado, a partir de los datos de aproximadamente 2500 calderas existentes. El estudio preseleccionó las industrias con mayor número y tamaño de calderas instaladas, con lo cual, se obtuvo un total de 570 calderas. Así, con los datos disponibles de 1997 se llegó a calcular el potencial antes mencionado. Además, se estimó en este tercer estudio que para el año 2002 se alcanzaría un potencial en cogeneración de 400 MWe, bajo el supuesto de utilizar una tasa de crecimiento conservadora del 5.6% para las industrias con potencial cogenerador.

En el trabajo de (Gamma Ingenieros, 2004), también se planteó como objetivo la estimación del potencial de CHP, para así generar la información necesaria y definir un Plan de Acción de la CHP en Chile. Los autores se enfocaron principalmente en la “cogeneración industrial”; este “apellido” de industrial” es mencionado, porque dicho estudio se centró en proyectos de CHP en el sector industrial, aunque en la estimación de potencial de CHP se incluyeron hospitales. A raíz de este trabajo, también se obtuvo un catastro de las empresas ligadas al sector I&M que poseían potencia instalada en base a la tecnología de CHP. Otro de los aportes importantes de este trabajo, es que permitió fundamentar y agregar a la CHP como un tipo de Pequeño Medio de Generación en la Ley Corta I y su reglamento, accediendo por tanto, a los beneficios estipulados para estos proyectos. Muchas de las especificaciones técnicas se obtuvieron del estudio.

Otro de los estudios con gran impacto y fiabilidad en sus resultados es el llevado a cabo por (Universidad de Chile, 2010). En este, de manera similar al estudio del año 2004, se persigue como objetivo principal generar bases fundamentadas para elaborar un plan de acción que incentive la implementación masiva de la CHP en la matriz energética entre los años 2010-2020, de manera tal, que se pudiese superar las barreras existentes y valorar los beneficios de la CHP. Como parte de sus tareas, los autores realizaron un nuevo catastro de la potencia instalada en el sector industrial manufacturero y fabricación de productos de la minería, a partir del cual se actualizó la estimación del potencial estimado en el estudio de 2004. Del catastro se determinó que, de las plantas en operación con CHP existía una potencia 864 MWe, lo que equivalía al 6% de la capacidad de potencia instalada para la generación de energía eléctrica en Chile, de los cuales 689 MWe usan biomasa y 175 MWe usan combustibles fósiles. A partir de estos datos, se efectuó la estimación del potencial de CHP, que fue de 875 MWe, adicionales a la potencia instalada. Para lograr este objetivo, se requiere de diferentes acciones, entre las que se destaca la superación de las barreras del conocimiento, económicas y regulatorias.

3. METODOLOGÍA

En la génesis de este estudio, se creía que la primera estimación del potencial de CHP y catastro de industrias con potencia instalada de CHP en Chile se había hecho el año 2004 (Gamma Ingenieros, 2004). Debido a que es uno de los más citados en la literatura y su contenido ofrece una gran cantidad de información técnico-económico sobre la CHP en el país, este estudio fue fundamental para la comunidad científica y profesional. Sin embargo, como fue mencionado en el apartado 2, previamente ya existía un estudio de potencial de CHP del año 1995 (Deuman Ingenieros, 2003), en el cual se estimó que dicho potencial técnico era de 1000 MWe, de los cuales cerca de 260 MWe se consideraban como factibles. La estimación del potencial en este primer estudio de potenciales se realizó a partir de las industrias que usarían principalmente sus generadores a vapor para producir electricidad, y en el caso del calor producido sería dedicado a los procesos productivos. La mayor parte de esta CHP se estimaba que sería para autogeneración, con muy poca cantidad de excedentes para la venta. Entre los sectores industriales analizados estuvo la minería del cobre, hierro y acero, cerámicas, ladrillo, cemento, pulpa y papel, alimentos, manufactura de llantas, hospitales, hoteles y condominios residenciales.

Más recientemente, durante el año 2010 un estudio realizado por del Instituto de Asuntos Públicos de la Universidad de Chile (Universidad de Chile, 2010), generó las bases fundamentales para elaborar un plan de acción efectivo con objeto de incentivar la implementación masiva de la CHP en la matriz energética entre los años 2010-2020, lo cual permitiese superar las barreras existentes y valorar los beneficios de la CHP en Chile. Además, en dicho estudio se generó una actualización del potencial de CHP estimado el año 2004, enfocado principalmente en el sector I&M, ya que estos poseían los potenciales más altos de CHP.

En términos generales, la metodología empleada por el Instituto de Asuntos Públicos el año 2010 consistió en el estudio de 11 ramas de producción, sus respectivos procesos productivos y la demanda energética anual de estos. Luego, a partir de los usos del calor, tipo de proceso y combustibles empleados, se determinó el calor útil que eventualmente podría ser aprovechado en cogeneración, para luego asignar a estos una tecnología de cogeneración apropiada según el tipo de establecimiento productivo. Finalmente, a partir de la relación electricidad producida versus calor útil para cada tecnología se estimó el potencial eléctrico que podría ser instalado. En base a estos dos trabajos, el presente estudio pretende establecer cuánto se ha avanzado en la adopción de CHP en Chile, estableciendo el potencial eléctrico que podría estar disponible para integrar al Sistema Eléctrico Nacional. Todo esto bajo la base de realizar un nuevo catastro de las empresas, no solo del ámbito I&M, sino que incluya otros rubros, donde se identifiquen los potenciales instalados de CHP en el país. De manera tal, que la integración de las capacidades de las empresas o industrias identificadas se puedan visualizar como posible medida para introducir una mayor flexibilidad al sistema eléctrico, al mismo tiempo que para alcanzar los objetivos de adopción de energías renovables en Chile, tanto en el mediano como largo plazo.

La generación del catastro de las empresas e industrias que poseen capacidad instalada de CHP, se ha desarrollado en gran medida, de manera similar a la propuesta por (Universidad de Chile, 2010). Se hizo una revisión y búsqueda exhaustiva en las diferentes bases de datos de las fuentes públicas gubernamentales, empresas y agencias ligadas al ámbito de la energía, en las cuales se disponen variables, tales como, la capacidad instalada eléctrica y térmica, energía eléctrica inyectada a la red, portador energético empleado para cogenerar, localización geográfica, año de inicio de operación y el tipo de tecnología empleada (turbina de gas o vapor y motor de combustión interna). Entre las fuentes consultadas destacan el Ministerio de Energía (MINENERGIA), el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN), la CNE, el Servicio de Evaluación e Impacto Ambiental (SEIA) y se contactaron empresas directamente para confirmar que las plantas de CHP continúan en operación. En dichas fuentes de información no solo se obtuvieron las variables antes mencionadas de las plantas de CHP en funcionamiento, sino también aquellos proyectos que han sido aprobados para su implementación, según lo informa el SEIA. Adicionalmente, se obtuvo el registro de otro grupo de proyectos de CHP ya implementados como es el caso del trabajo realizado en conjunto por la Agencia Alemana para la Cooperación (Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit - GIZ) y la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), así como de forma independiente el ejecutado en las empresas Abastible y Schwager.

4. RESULTADOS

La evolución histórica del ingreso en operación de las plantas de CHP en Chile (Figura 1), muestra un aumento considerable y sostenido en el último periodo, en especial desde 1990. Dentro de esta evolución es posible identificar tres hitos fundamentales. El primero radica en la instalación de la primera planta, la cual, comenzó a operar en el año 1930; el segundo hito, corresponde a 1990, dado que, a partir de este año se da un salto cuantitativo en el país respecto a las exportaciones forestales chilenas (ODEPA, 2007); de ahí que las empresas ligadas a este rubro, donde se requieren grandes consumos de electricidad y calor, se hayan visto incentivadas por implementar la tecnología de la CHP. De hecho, en el catastro realizado se puede observar que de los 240.7 MWe y 2338.9 MWt agregados entre los años 1990 y 1995 el 83.4% y 97% de potencia eléctrica y térmica, respectivamente, corresponden al sector forestal, celulosa y papel. Mientras que, el tercer hito se sitúa entre los años 2004 y 2008, influenciado principalmente por dos causas, la primera, es la crisis del gas ,se trata de la disminución de importaciones de gas proveniente de Argentina, motivo por el cual, el mix de generación se volcó hacia el uso de combustibles fósiles de elevado valor y altamente

contaminantes, como es el caso del diésel (Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, 2016; Systep Ingeniería y Diseño, 2009; International Energy Agency, 2009); y la segunda, es la implementación de nuevas políticas públicas respecto del uso de las energías renovables y eficiencia energética, donde además se recoge por primera vez el término Cogeneración Eficiente, Ley 20257 (Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, 2008).

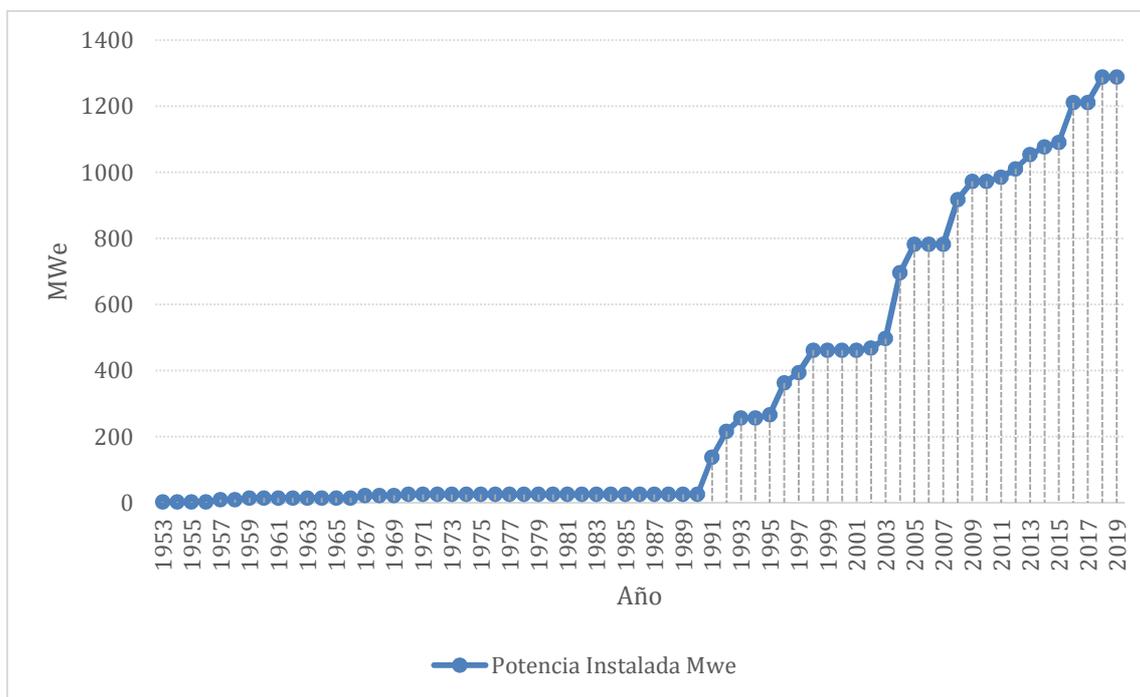


Figura 1. Evolución histórica del ingreso en operación de las plantas de CHP en Chile
Fuente: cálculos propios

A partir del catastro actual de plantas de CHP que operan en Chile, se concluye que, existen actualmente 54 plantas, de las cuales, 49 se encuentran en operación, presentando 1179.77 MWe y 6107.72 MWt. Las otras 5 plantas se encuentran en construcción o bajo aprobación de proyecto, según informa el SEIA. De estas últimas, la capacidad es de 108.1 MWe y 558 MWt, eléctrica y térmica respectivamente. En el mapa de distribución nacional de las plantas, mostrado en la figura 2, se destaca que, la mayor parte de las plantas están ubicadas en la zona centro sur del país, representando un 93% del total de las plantas. Además, la figura 2 representa la potencia térmica y eléctrica instalada en cada una de las regiones que componen el país, lo cual se analizará más adelante.

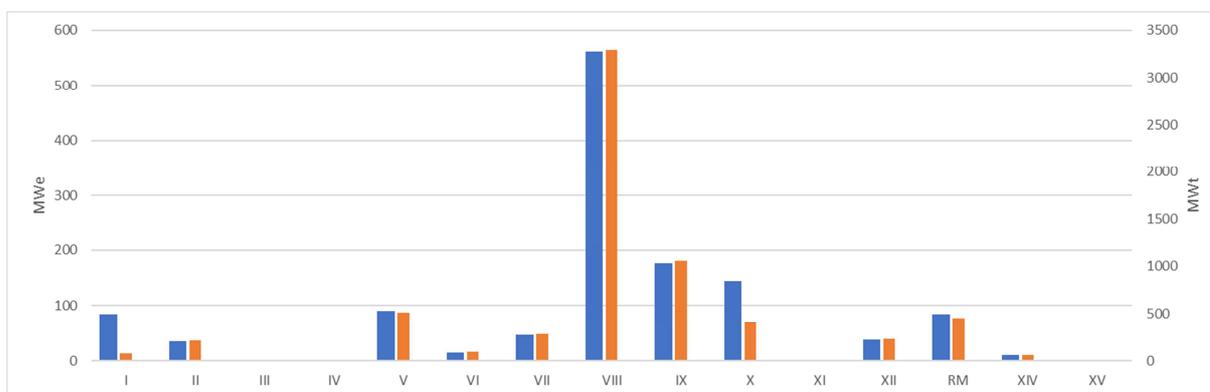


Figura 2. Distribución del potencial de generación de plantas de CHP en Chile por región en 2018
Fuente: cálculos propios

En relación a la inyección de energía a la red de energía eléctrica nacional, se tiene que el año 2017 se inyectaron 2669.8 GWh, correspondientes al 3.6% del total de la energía eléctrica producida en el país. Las plantas que no inyectaron a la red son 33, las cuales suman 963 MWe de potencia instalada, y cuyos tamaños oscilan entre 0.12 y 77 MWe. De este total, 28 poseen una capacidad de generación instalada menor a 20 MWe, lo cual, las hace aptas para ingresar en la categoría de CHP Eficiente, según lo recoge la Ley 20257. Esto puede traducirse en ganancias económicas, si tuvieran excedentes de energía eléctrica, ya que podrían según la actual normativa vender dichos excedentes al Mercado Eléctrico con ventajas sobre otras fuentes de energía (Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, 2012; Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción: Subsecretaría de Economía fomento y Reconstrucción, 2005). Además, es importante destacar que, quizás existan otras plantas de CHP con capacidad instalada menor a 3 MWe que no aparezcan en las bases de datos con las cuales se desarrolló el catastro actual. En cuanto a las plantas que sí inyectaron energía eléctrica al sistema, estas poseen una potencia eléctrica instalada de entre 6.4 MWe y 140 MWe.

La potencia instalada total en el país hasta junio de 2018 era de 23160.91 MWe de los cuales el 5.1% equivalen a las plantas de CHP en operación. La disminución de este valor, con respecto al que mostrado en el estudio de (Universidad de Chile, 2010), se debe principalmente a la puesta en marcha de las diferentes centrales de ERNC (solar fotovoltaica y eólica) que fueron implementadas a partir de las exigencias en la Ley 20257, que señala la obligatoriedad de incluir un porcentaje de ERNC a todas las empresas comercializadoras. (Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, 2018). También, señalar que con respecto al catastro de (Universidad de Chile, 2010) existe una diferencia de 76.4 MWe de capacidad instalada. La diferencia se debe a que algunas de las industrias dedicadas al sector forestal, celulosa y papel han modificado su potencia instalada, incrementando o disminuyendo sus capacidades en 59.5 MWe y dos de las plantas catastradas antes de 2010 han dejado de operar, con una capacidad de 16.9 MWe.

En base a este catastro, se ha estudiado el panorama mundial respecto de la penetración de plantas de cogeneración en la matriz eléctrica y producción de energía en distintos países para el año 2015, último año para el que existen datos disponibles a nivel internacional (figura 3). En el caso de Chile, la producción de energía eléctrica mediante CHP el año 2015 representa un 3.2%¹ del total de la energía generada en el país, mientras que, en países como Eslovaquia, Alemania y USA la proporción de energía proveniente de CHP sobre el total de generación eléctrica del país es de 78.5%, 12.2% y 12%, respectivamente; lo que coloca a Chile en el grupo de países con menor penetración de Cogeneración en la matriz eléctrica. Esto ocurre fundamentalmente, porque estos países cuentan con regulación específica para CHP que lleva en ejecución muchos años y que posee mayores niveles de complejidad técnica-económica respecto de la regulación chilena. Además, estas leyes incentivan el uso de la CHP tanto para la generación eléctrica como de calor.

¹ Con base en el Anuario de la Comisión Nacional de Energía del año 2015 (Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, 2016), en todo Chile se generaron 72175 GWh. Por otro lado, de acuerdo al catastro desarrollado en este trabajo, 2324.9 GWh fueron generados e inyectados a la red a partir de plantas de CHP, lo cual, representa un 3.2 % del total de la energía producida en el país ese mismo año.

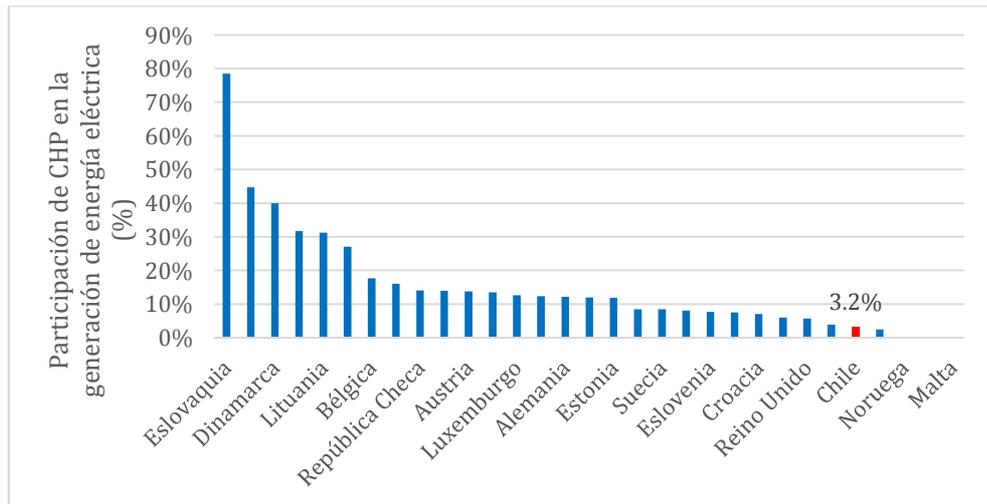


Figura 3. Contribución de CHP a la generación total de electricidad (en porcentaje)
Fuente: Eurostat, U.S. Department of Energy, cálculos propios

A partir del catastro de plantas de CHP halladas en Chile operando al año 2016, se ha determinado que la energía térmica que estos equipos podrían suministrar para los distintos procesos productivos es de 54325753 MWh en el año, teniendo 1210 MWe de capacidad eléctrica instalada. Asimismo se ha identificado, a partir del Balance Nacional de Energía del año 2016 (Comisión Nacional de Energía del Gobierno de Chile, 2016), el consumo energético final empleado para fines calóricos en los sectores I&M, Comercial y Público. En consecuencia, se consideró los combustibles petróleo crudo, gas natural, carbón, biomasa, biogás, derivados del petróleo, derivados del carbón y gas corriente, cuyo consumo final suma 91176418 MWh térmicos para el año bajo análisis. Finalmente, considerando la totalidad de energía consumida por cada uno de los tres sectores productivos estudiados (según el Balance Nacional de Energía), se estima la capacidad eléctrica en CHP que debería estar instalada para satisfacer la demanda energética para fines térmicos monitoreada el año 2016. En base a estos cálculos, se ha determinado un potencial total para CHP en Chile de 1386 MW eléctricos al año 2016, de los cuales 821 MWe corresponden al Sector de la I&M, 481 MWe corresponden al Sector Comercial, y finalmente 84 MWe pertenecen al Sector Público (figura 4).

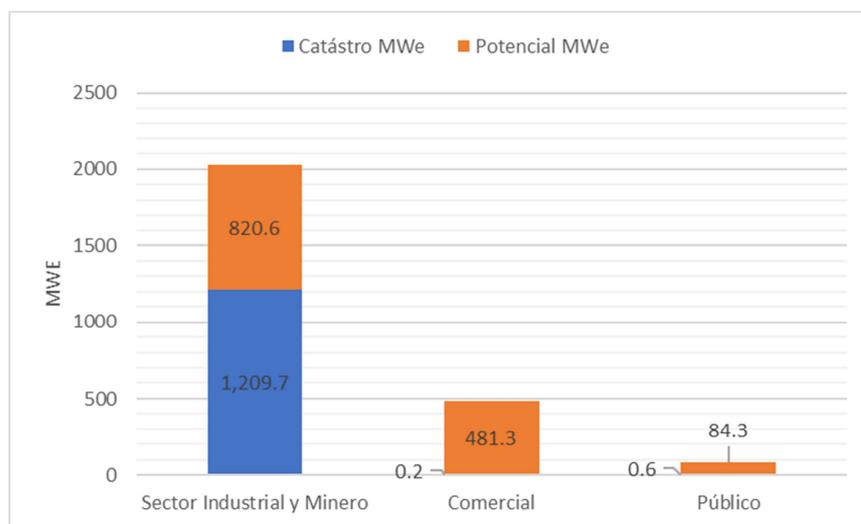


Figura 4. Capacidad instalada y potencial de generación por sector económico
Fuente: cálculos propios

5. CONCLUSIONES

El objetivo de este artículo es generar un catastro de las plantas de CHP existentes en Chile que recoja las características de las instalaciones en industrias específicas, así como su evolución, con el objetivo de extrapolar los datos al resto de la economía y obtener un potencial de CHP para el país. Para ello, se han consultado tanto fuentes públicas, así como entrevistas con empresas para conocer el estado actual del parque de plantas de CHP en el país. El análisis del catastro de Chile muestra que en los últimos años la capacidad instalada de plantas de CHP ha ido en aumento, en especial en el sector industrial.

Una de las principales razones para este avance en el periodo 2000-2018 es el desarrollo de un marco regulatorio y procedimientos claros para registrar plantas de CHP eficiente, que permite al cogenerador eficiente acogerse a la Ley Net Billing, para clientes regulados con capacidad excedente menor a 100 kW; o bien, al régimen correspondiente a Pequeños Medios de Generación. Otro de los avances importantes en este periodo es la instalación de CHP en tres hospitales, privilegiando el sector sur del país, altamente consumidor de calor debido a las bajas temperaturas. Estas instalaciones suponen un desarrollo importante debido a que representan uno de los primeros avances en la instalación de CHP en el sector público, muy poco desarrollado hasta el momento.

En cuanto al análisis del potencial, los resultados muestran que, pese a que Chile ha mejorado, aún existe un amplio margen de acción, especialmente en los sectores comercial y público. Estos resultados, junto con el gran potencial del sector industrial, representan una opción para introducir una mayor flexibilidad en el sistema eléctrico mediante políticas de gestión de la demanda. La relevancia de este estudio estriba en que la capacidad de participación de estas instalaciones está limitada a los incentivos que la regulación contemple, que en el caso de los servicios complementarios se encuentra en discusión. Por tanto, estudios de potencial como el presente pueden ayudar a ajustar la regulación a las características de la capacidad disponible y su potencial, con el fin de maximizar la participación de CHP en estos esquemas.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile (CONICYT) y al Ministerio de Educación e Investigación de Alemania (BMBF), los cuales, en el marco del proyecto BMBF150075: “Increasing renewable energy penetration in industrial production and grid integration through optimized CHP energy dispatch scheduling and demand side management”, han hecho posible el desarrollo de este artículo.

REFERENCIAS

Comisión Nacional de Energía del Gobierno de Chile, Ministerio de Energía del Gobierno de Chile (2016). Balance Nacional de Energía 2016. Energía Abierta. Disponible en: <http://datos.energiaabierta.cl/dataviews/244115/bne-2016-balance-energia-global-tcal/>, último acceso en Julio 31, 2018.

Deuman Ingenieros (2003). Transferencia de Tecnología Para El Cambio Climático. Fundación para la Transferencia Tecnológica de la Universidad de Chile (UNTEC).

Gamma Ingenieros (2004). Evaluación Del Desempeño Operacional y Comercial de Centrales de Cogeneracion y Estudio Del Potencial de Cogeneracion En Chile. Santiago de Chile: Comisión Nacional de Energía. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/39918717/Cogeneracion-Varios-casos>, último acceso en Julio 31, 2018.

GIZ (2014). Resumen Empresas Industriales Con Potencial de Cogeneración En Chile. Santiago de Chile: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

International Energy Agency (2009). Chile Energy Policy Review 2009. OECD. Disponible en: https://www.oecd-ilibrary.org/energy/chile-energy-policy-review-2009_9789264073159-en, último acceso en Agosto 16, 2018.

Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción (2008). Ley 20.257. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Legislación Chilena.

Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción: Subsecretaría de Economía fomento y Reconstrucción (2005). Decreto 244. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Legislación Chilena. Disponible en: <http://www.leychile.cl/N?i=246461&f=2015-09-30&p=>, último acceso en Julio 31, 2018.

Ministerio de Energía del Gobierno de Chile (2012). Ley 20571. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Legislación Chilena. Disponible en: <https://www.leychile.cl/N?i=1038211&f=2014-09-06&p=>, último acceso en Julio 31, 2018.

Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, Comisión Nacional de Energía del Gobierno de Chile (2016). Anuario Estadístico de Energía 2005-2015. Comisión Nacional de Energía.

Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, Comisión Nacional de Energía del Gobierno de Chile (2018). Anuario Estadístico de Energía 2007-2017. Comisión Nacional de Energía.

ODEPA (2007). Evolución de Las Exportaciones Forestales 1990-2005. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) -Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile. Disponible en: Odepa.Gob. <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/evolucion-de-las-exportaciones-forestales-1990-2005-2>, último acceso en Julio 31, 2018.

Systep Ingeniería y Diseño (2009). Reporte Sector Eléctrico SING-SIC Noviembre 2009. Reporte, 11. Systep. Disponible en: http://systep.cl/documents/reportes/112009_Systep_Reporte_Sector_Electrico.pdf, último acceso en Julio 31, 2018.

Universidad de Chile (2010) Estudio Para El Desarrollo de La Cogeneración En Chile. Miniserio de Energía del Gobierno de Chile.

Universidad de Chile (2013). Análisis de Barreras, Seguimiento de Proyectos y Diseño de Una Línea de Apoyo a La Cogeneración. Programa de Estudios e Investigaciones en Energía, Corporación Centro de Análisis de Políticas Públicas, Universidad de Chile.

Varbanov, P.S., y Klemeš J.J. (2011). Small and Micro Combined Heat and Power (CHP) Systems for the Food and Beverage Processing Industries. *En* Small and Micro Combined Heat and Power (CHP) Systems, pp. 395–426. Elsevier.

ABSTRACT

The oldest Combined Heat and Power (CHP) project in Chile dates back to 1930 and operated until 1997. However, although the CHP technology has been introduced for a long time, few studies have analysed its potential and evolution. The development of a cadastre that includes all installed capacity and their characteristics is the first step to analyse the country's potential. The importance of this exercise lies in the potential integration of greater CHP capacities in the electric system as a mean to address the intermittence of non-conventional energy sources. In addition, due to the possibility to transfer both the electricity and heat not consumed in the production processes into the grid, CHP plants can help achieve energy efficiency objectives. However, for this to happen it is necessary the availability of a regulatory framework designed according to the capacities and characteristics of the CHP capacities installed. This article aims to identify the characteristics of the CHP capacities in specific industries as well as their evolution during time, in order to extrapolate the data to the rest of the economy and obtain a CHP potential for the country. For this purpose, previous cadastres have been consulted and the information complemented with interviews with companies to know the current status of the CHP plants in the country.

Keywords: Combined Heat and Power, energy efficiency, power system flexibility